

## 気流を発生しない輻射（放射）冷暖房

### ーコロナ禍における冷暖房と換気ー

#### 1. はじめに

新型コロナウイルスは、われわれの暮らしや社会に大きな影響を与えている。

一旦は収束するかに見えた感染も、7月に入って再燃、その“第二波”も9月以降緩やかに納まりつつあるように見える。しかし、予断は許されない。これから寒くなって、インフルエンザとの“競演”も懸念される。

この暑かった夏を迎えるにあたって、冷房と同時に換気も不可欠という、矛盾する対応が求められた。異例の長期豪雨の影響で避難生活を余儀なくされた人も多く、避難所での冷房や感染対策が深刻な問題になるとともに、密を避けるために定員を下げたために避難所に入れない人が続出するといったことも経験した。

寒い冬に向けて、暖房や換気、そして暮らしをどのようにしていけばよいのか。

ここでは、気流の発生がほとんどなく、空気感染の懸念の低い輻射（放射）暖冷房を中心に、環境調節の在り方を考えてみたい。

#### 2. ウィルスへの対応

新型コロナウイルスをはじめウィルスや細菌による感染経路は主に次の3つである<sup>1)</sup>。

- ①接触感染 感染者（源）に直接接触することによる感染
- ②飛沫感染 咳やくしゃみで飛び散ったしぶき（飛沫）を吸い込むことによる感染
- ③空気感染 空气中を漂う微細な粒子（飛沫核）を吸い込むことによる感染

感染症にはこの他に、汚れた水や食品、昆虫等による④媒介物感染があるが、新型コロナウイルスには該当しないであろう。

周知のとおり①接触感染は、手洗いや消毒でかなりの部分が回避できる。②飛沫感染は、距離をとることやマスクが有効である。日本で感染爆発が起きなかった理由の一つに、マスクの着用には抵抗がないことが挙げられている。③空気感染については、空气中での希釈が比較的早く進むので、そのリスクは高くないといわれている。しかし、3密の一つである密閉空間を避ける意味で、換気が重要なことは多方面<sup>2) 3)</sup>から発信されている。

咳やくしゃみで飛び散るしぶきの内、5  $\mu$ m程度より大きいもの（飛沫）は重いので短時間で沈積し、2 m程度以上の距離（ソーシャルディスタンス）をとれば直接吸い込んだり皮膚に付着することは避けられる。しかし、それより小さいもの（飛沫核）は軽いので空气中を漂い、それらを吸い込むことによる感染が空気感染である。

飛沫核を含む浮遊粒子状物質のことを「エアロゾル」と呼んでいるが、WHOはエアロゾル化した飛沫による感染（空気感染）の可能性は排除できない（2020年7月10日）と述べ、注意を喚起している。これらを速やかに希釈し排出するためには、空気の流れを考慮した効果的な換気が求められる。

#### 3. 空気感染の懸念と事例

中央式の空調設備を持つ建物では、空調による感染拡大の可能性はある。中央式の場合、各

室に供給される加熱・冷却された空気は、新鮮空気（外気）と各室からの還り空気が混合され調整されたものとなっている。この還り空気中に感染者から出た病原菌やウイルスが混合していれば、それが各室に供給されて感染を拡大することとなる。これを防止するためには、個別空調（換気含む）にするか全外気とする必要がある。

1960年代に結核の集団感染が発生して以来、近年でも年間40件程度の院内感染・集団感染が報告されている。そのうちのいくつかは空調方式が原因であったといわれる。病院ではその対策として個別空調や換気を陰圧で行う等の対応が進んでいる。しかし、一般建築物では中央式の空調設備は依然として少なくなく、空調設備を介した新型コロナウイルスの拡散の懸念は拭えない。

また、エアコンによる感染として中国、広州のレストランでの例（図1<sup>4)</sup>）が知られている。これは、エアコンの気流が届く範囲で感染が拡大したもので、感染者の風下だけではなく風上側の席でも感染者が出た例で、空気感染が疑われている。

いずれにしても、不特定多数の人がいる空間では、感染者の存在を前提に空気の流れを考慮した空調や換気を行う必要がある。

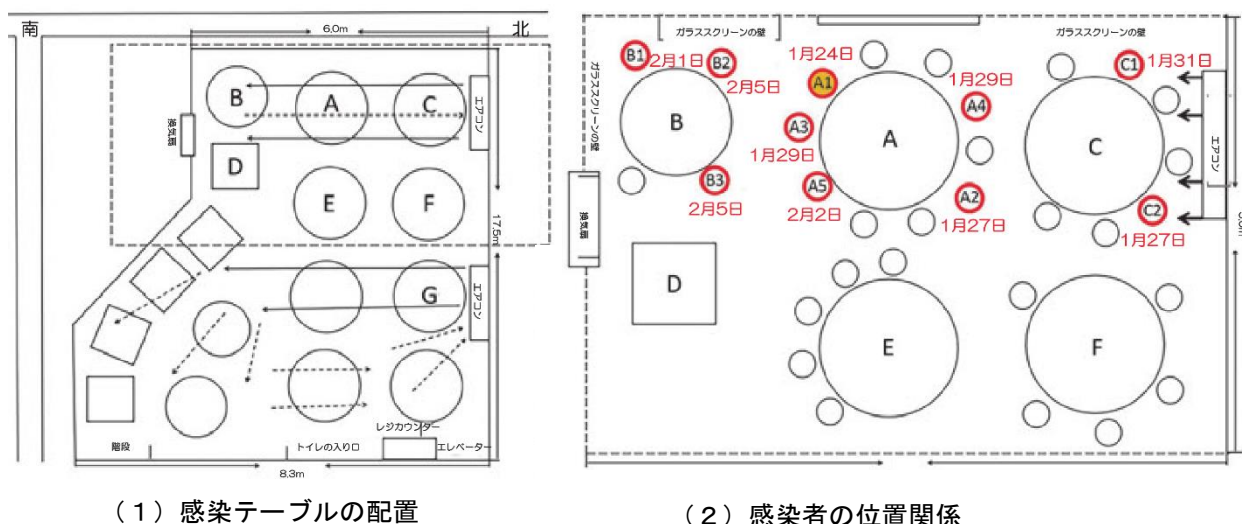


図1 エアコンのあるレストランでの感染例<sup>4)</sup>

#### 4. 感染防止のための換気と暖冷房

空気の流れや移動を伴う空調が空気感染を引き起こし、感染拡大の要因の一つになりえる可能性がある以上、空調や換気の在り方が感染防止の観点で重要となる。

換気は、空気の入替えであり、空気の流れや移動は避けられない。換気については、冷房期を控えて、「エアコンで冷房しながら窓を開けて換気してください」といった注意喚起がなされ、学術団体（日本建築学会、空気調和衛生工学会など）からも、専門的な見地での換気の必要性や有用性などの情報<sup>2) 3)</sup>が開示された。換気に関してはそれらの情報に詳しいので、参照されたい。

暖冷房には対流方式と放射（以下、輻射という）方式があり、後者は空気の流れや移動が少ない空調方式である。わが国では、エアコンや中央式の空調のように、加熱・冷却した空気

室内の環境を調節する前者の対流式が主流になっている。

わが国の暖房を概観してみると、囲炉裏、火鉢、こたつ等の暖身（局所暖房）器具・装置の長い時代を経て、石油やガスを燃料とするストーブが登場し、次いで温風暖房機（ファンヒーターを代表として）が普及した。そして、冷房へのニーズが高まるとウィンドクーラーなどの冷房専用機が登場、やがて冷暖両用のエアコンが一般的となって現在に至っている。

初期の囲炉裏や火鉢は輻射要素の多い加熱方式であったが、ストーブ以降エアコンに至るまで、一貫して対流式の歴史となっている。もちろん、輻射式の一つである床暖房や冷温水によるパネル暖冷房も一定のシェアを占めているがマイナーな存在である。

一方、欧州では、ペチカや暖炉、カッフェルオーフェンなどを源流として、蒸気や温水によるラジエーター、輻射パネル、壁暖房など、輻射式の風土とあってよいであろう。

少し話がそれたが、テーマを感染防止と暖冷房に戻すと、既に示した通り、中央式空調のような大規模な場合もエアコンにおいても、空気の循環が汚染源の拡散を助長する懸念は拭えない。それに対して輻射式は、強制的な気流は生じないので、気流に乗って拡散する空気汚染の懸念は少ない。コロナ禍において、ウィルスの拡散を防止しようとするならば、対流式より輻射式暖冷房の方が安心といえる。

輻射式は、省エネ性や快適性、健康性などの面でも優位性があり、感染防止以外の観点からみても、環境調節手法として優れている。以下、輻射暖冷房の特徴を少し詳しく見てみたい。

## 5. 輻射（放射）式暖冷房

### （1）理想の暖冷房

春や秋の快適さの要因の一つは、気温と輻射温度（放射温度）に差がなく温度むらがないことである。理想の環境は、むらのない春や秋のような快適さが実現された空間であり、それを可能とするのが輻射暖冷房である。もちろん、太陽の輻射熱がやさしく温めてくれる冬の縁側の陽だまりの心地よさにも、輻射暖房の理想の姿がある。

### （2）理にかなった暖冷房

人体は、食物をエネルギー源として体内で熱に変換し、臓器や体温を維持するとともに、余った熱は体外に排出して一定の体温を維持している。体内での産熱と放散される熱量がバランスしているとき、37℃の体温が維持され暑くも寒くもない状態となる。この時、皮膚の表面温度の平均は33～34℃である。周囲の気温が上がると体内に熱がこもって暑く感じ、低温になると逃げる熱が多く寒さを感じるようになる。

産熱と放熱がバランスしている時、人体から排出される熱は、対流で20～30%、呼吸や蒸泄（発汗）で20～30%、輻射で約50%である。足裏等から伝導で流出入する熱もあるがごくわずかであり、およそ半分の熱が輻射でやり取りされる。（図2参照）

このことは、普段感じることは少ないが、気温や湿度よりも輻射温度（周壁の表面温度など）が人体の体温維持や快適性に大きく寄与することを示している。人体の熱生理（熱収支）からみれば、暖冷房は空気を加熱冷却する対流式よりも面的な加熱冷却による輻射式の方が理にか

なっていて、効率的であるといえる。気流を伴う対流式は、風が直接体表面に当たることが避けられず、気流が過度に熱を奪い寒さや不快感を生じる懸念も強い。

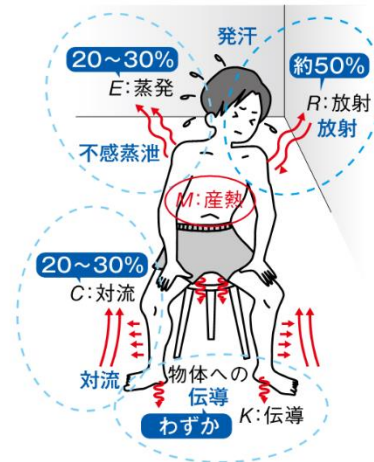


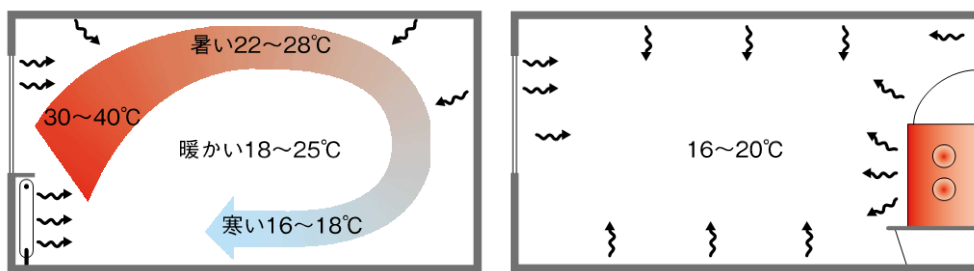
図2 人体の熱収支

人体は、熱収支がバランスするように自律性体温調節機能を有し、それを超えると衣服や窓開け等（行動性調節機能）で対応している。しかし、自律的・行動的な調節範囲には限界があるので、わが国の大部分では冬は暖房、夏には冷房が不可欠となる。

(3) 対流暖房と輻射（放射）暖房の特徴

図3は、対流暖房と輻射暖房の環境形成特性を概念的に示したものである。

対流暖房の図は、ラジエーターなどの放射成分が比較的多い対流式で描かれているが、わが国の主流であるエアコン等の場合にはより大きな温度差がつく可能性がある。一方、輻射暖房の場合には、気流も温度むらもなく、比較的低温で均質（気流はなく温度むらも小さい）な暖房ができる。低温である分だけ相対湿度は高くなる。



例)ラジエーター、コンベクター、エアコンなど

例)カッヘルオーフェン、壁暖房、床暖房、パネル暖房など

図6 対流式と輻射式の比較<sup>1)</sup>

この両者を比較すると、次のような点で輻射暖房の方が優れているといえる。

- ①空気の対流、塵埃の発生・循環がほとんどない
- ②温度差（室内の垂直・水平分布）は小さく、湿度が高い

- ③空気や建材の乾燥を防ぐ
- ④バクテリア、ウィルスの活性を低下させる
- ⑤静電気の発生を抑制する
- ⑥騒音・振動が抑えられる

良いことづくめであるのになぜ普及しないのか？

ユーザーの認知度をはじめ、設備的な課題（価格や施工性）等を総合的に検討する必要があるだろう。

## 6. コロナ禍における換気と暖冷房

### （1）窓開け換気の奨励

文部科学省は、教室換気は「可能な限り常時、困難な場合はこまめに（30分に1回以上、数分間程度、窓を全開する）、2方向の窓を同時に開けて行う」ようにすることを求めている。また、そのための窓開け指針として日本建築学会<sup>4)</sup>は、窓の必要開放面積を提示している。

学校に限らず、住宅でもエアコンを使用しながら換気することが奨励されている。

大量の換気は大きな熱損失となり、室温は下降ないしは上昇する。常時の窓開け換気をしながら暖冷房するには、通常の負荷の3~5倍の加熱・冷却能力が必要となるであろう。それだけの余力が空調設備にはないのが普通で、室温の下降・上昇は避けられない。

もちろん、冷房の効きが悪く多少暑くても、その空気温より数度以上低温の冷風が吹いてくるのは心地よく、ある意味、贅沢な環境（究極の冷房？）ができるともいえる。

京都の料亭で、窓を開放して窓下のエアコンから冷風を吹き出し、時折、風に乗って冷風が届く。そんな環境の中で料理を提供しているという話を聞いた時、これは理想の環境制御かもしれないと思った。窓開け換気をしながらエアコンを効かせるという状況もこれに近い。なぜなら、真の快適感是不快さの裏返しでもあるから。

### （2）換気時にこそ輻射暖冷房を

とは言いながら、もっといい暖冷房があるのではないかと考えると、ここでも輻射（放射）暖冷房の出番である。輻射熱は、間にどんな空気であろうとなかろうと（真空でも）直接届く。暖房の場合、多少室温が低くなっても、直接輻射面から体表面に熱が移動するので快適性が一定程度保持される。しかも、平均輻射（放射）温度は気温と同等の体感効果が見込める。

したがって、窓開けで室温が下っても、輻射パネルがあれば寒さや不快感は軽減される。

写真1、2は、直膨式（エアコンの冷媒利用）の輻射パネルの運転状況である。これはエアコンと輻射パネルの併用なので、純粹の輻射式ではないが、エアコンの風量を最小とすることでパネルの輻射効果を高めることができる。写真の場合、室温は20°C、パネル表面温度約40°Cである。パネル面積は決して大きくないが、室温と表面温度の差は20°C、体表面との温度差は5~10°C程度あるので、輻射熱を感じる事ができる。

このパネルの特徴は、輻射効果による快適性向上に加えて、エアコン冷凍サイクルの効率改善により暖房時・冷房時ともに約30~40%の電力量が削減されることである。エアコンを使用しながら窓開け換気を行うと電気代が高くなるが、このパネル併用でその上昇を抑制できる。

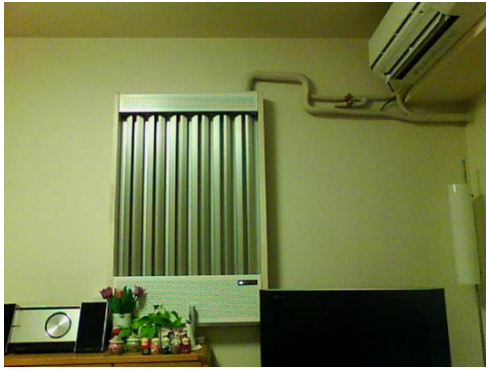


写真1 輻射パネル設置状況

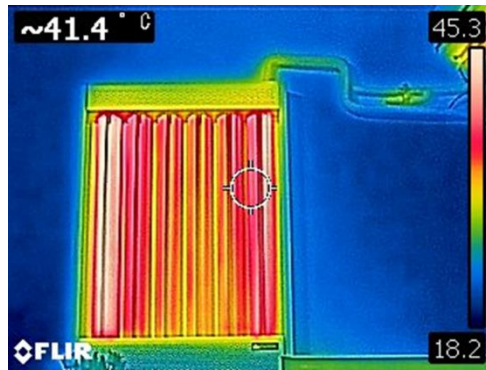


写真2 輻射パネル運転時熱画像

輻射（放射）冷暖房については、すでに多くの製品が展開されている。そんな中で、写真3は新しい製品である。特殊な放熱パイプ（写真の中の下2本）を基本として、パイプ（+放熱板）の長さとお本数を部屋の形状や用途に合わせて設定できるので、自由度の高い設計が可能となる。



写真3 新しい輻射パイプ（パネル）

写真4は、通常の輻射パネルの例<sup>6)</sup>であるが、これらも、もちろん気流を生じない快適な環境形成に有用であることは言うまでもない。気流のわずらわしさだけでなく、音の無い静謐な環境が形成できるのも輻射型の特性である。



写真4 除湿型放射パネルの例<sup>6)</sup>

### (3) 低体温症・熱中症対策としての輻射暖冷房

環境調整能力が低下する高齢者・一部の障害者においては、低体温症や熱中症への配慮が必要である。エアコンを使用しているも、窓開け換気で室温が低下・上昇するとこれらのリスクは高くなる。既に示したように、人体の熱放散の50%が輻射で行われるため、輻射式の方が対流式(エアコン)より熱放散の抑制や促進が効率的にでき、これらリスクの低減にも有効である。

加えて、輻射パネルに直接触れることによる深部体温の制御効果<sup>7)</sup>も見逃せない。手のひら(足の裏、頬も同様)にはAVA(動静脈吻合)という特殊な血管があり、ラジエーターのような働きをするので、手のひらで輻射パネルに触れば深部体温の上げ下げを効果的に行うことができる。体温を下げる場合の適温は15°C程度といわれるので、冷房時の輻射パネルは温度的にもうってつけである。写真3の輻射パイプは直径約50mmなので、握るのにちょうどよい太さである。また、冷房時の輻射パネルは結露しているため、その水分の蒸発潜熱で体表面温度を下げる効果も期待できるかもしれないという。

運動後に火照った体でも、このパイプを握れば速やかに深部体温を下げられる。私も、夏のジョギング後には重宝している。スポーツ施設や老健施設で特に有用である。

## 5. おわりに

コロナ禍において、感染防止の観点から効果的な換気の励行が求められている。窓を開けながら暖冷房するという矛盾する対応の中で、輻射暖冷房の優位性などを紹介した。制約の多い中で前向きにとらえ、多少なりとも安全・安心な環境の形成に役立てば幸いである。

### 参考文献等

- 1) AMR 臨床リファレンスセンターHP <http://amr.ncgm.go.jp/general/1-1-1.html>
- 2) 日本建築学会・空気調和・衛生工学会共同緊急会長談話「新型コロナウイルス感染症制御における「換気」に関して」 <https://www.aij.or.jp/jpn/databox/2020/200323.pdf>
- 3) 日本建築学会・空気調和・衛生工学会 「新型コロナウイルス感染症制御における「換気」に関して 「換気」に関するQ&A」 <https://www.aij.or.jp/jpn/databox/2020/200330.pdf>
- 4) CDCWatch <https://www.info-cdcwatch.jp/views/showbin.php?id=169&type=73&jpg>  
(出典)アメリカ疾病予防管理センター(CDC) オープンアクセスジャーナル『新興感染症』
- 5) 日本建築学会 WG、「学校における「換気の悪い密閉空間」を改善するための換気について」 [http://news-sv.aij.or.jp/kankyo/s7/school\\_vent\\_instruction\\_1.pdf](http://news-sv.aij.or.jp/kankyo/s7/school_vent_instruction_1.pdf)、2020.5.8
- 6) 日本バウビオロジー研究会、通信教育講座テキスト第3巻
- 7) ピーエスグループ HP <https://ps-group.co.jp/product/lineup-r/hr-c>
- 8) NHKHP [https://www.nhk.or.jp/kenko/atc\\_1018.html](https://www.nhk.or.jp/kenko/atc_1018.html)

坊垣和明

東京都市大学 名誉教授

一般社団法人輻射冷暖房普及促進協会 会長